



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE DEPORTE UNIVERSITARIO
DIRECCIÓN DE MEDICINA DEL DEPORTE

**PRECISIÓN Y REPETIBILIDAD DE DIFERENTES
MÉTODOS INDIRECTOS DE ESTIMACIÓN DEL
1-RM PARA SENTADILLA LIBRE**

T E S I S

**P R E S E N T A:
JUAN MANUEL JEREZANO MORA**

**PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD DE:
MEDICINA DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y
DEPORTIVA**

**ASESOR DE TESIS:
DR. JORGE TAKESHI AOYAMA NÚÑEZ**

CIUDAD DE MÉXICO, 2019.





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

Para mi prometida, porque cuando tú ya podrías volar libremente, vuelves a vivir una vez más esta etapa de la vida para estar conmigo.

Para mis papás, que siempre han estado para apoyarme y animarme a seguir adelante, en cada etapa, sin importar cual largo y sinuoso sea el camino.

Para mi hermana, quién siempre ha sido un ejemplo a seguir, que me enseñó a nunca darme por vencido.

Para mi hermano, que, aunque nunca estuvimos de acuerdo, de él aprendí a que las dediciones no se toman a la ligera.

AGRADECIMIENTOS

A mi prometida, gracias por enseñarme lo que no conseguí aprender en 29 años, qué no importa la cantidad de conocimiento ni objetos materiales la humildad siempre debe crecer de forma exponencial a todo lo anterior.

A mi madre, por enseñarme a nunca darme por vencido, qué el crecer en la vida lleva tiempo, esfuerzo, desvelos, sacrificios, pero que al final del camino, nada es en vano.

A mi padre, por enseñarme que las personas más importantes en la vida son mi familia, tanto en la que nací, como la que escogí para compartir el resto de mi vida.

A mis profesores, quienes me enseñaron a tomar decisiones éticas y a nunca tomar ventaja de los pacientes por veneficios económicos.

Al personal de Dirección de Medicina del Deporte, porque hacen de esta institución una zona de verdadero aprendizaje, llena de buenos tratos, respeto y calidad profesional, por ellos es que más que un título, me llevo una verdadera experiencia, llena de buenos momentos.

Al personal del turno vespertino del Frontón Cerrado, por siempre estar dispuestos a enseñar sin importar cuanto trabajo estuviera acumulado, la enseñanza siempre fue prioridad.

Al equipo de Basquetbol Varonil Mayor, quienes hicieron posible la realización de esta tesis.

**PRECISIÓN Y REPETIBILIDAD DE DIFERENTES MÉTODOS INDIRECTOS DE
ESTIMACIÓN DEL 1-RM EN SENTADILLA LIBRE**

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN	3
MARCO TEÓRICO.....	4
UNA REPETICIÓN MÁXIMA.....	4
DETERMINACIÓN DE 1-RM.....	4
TRANSDUCTOR DE POSICIÓN LINEAL O ENCODER LINEAL	6
LA CURVA FUERZA-VELOCIDAD	7
LA SENTADILLA LIBRE CON BARRA	9
MY LIFT APP (POWERLIFT).....	10
KINOVEA, MOTION TUNER	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	14
HIPÓTESIS.....	14
OBJETIVO GENERAL.....	15
OBJETIVO ESPECÍFICO	15
JUSTIFICACIÓN	16

MÉTODOS	19
TIPO DE ESTUDIO.....	19
PARTICIPANTES	19
CRITERIOS DE INCLUSIÓN	20
CRITERIOS DE EXCLUSIÓN	21
CRITERIOS DE ELIMINACIÓN	21
EQUIPO UTILIZADO.....	21
PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS Y RECOLECCIÓN DE DATOS	22
PROCESAMIENTO DE DATOS.....	28
DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES	28
RESULTADOS.....	29
DISCUSIÓN	34
CONCLUSIÓN.....	35
LIMITACIONES DEL ESTUDIO	35
ANEXOS	37
CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN MÉDICA	37
BIBLIOGRAFÍA	39

RESUMEN

Título: Precisión y Repetibilidad de Diferentes Métodos Indirectos de Estimación del 1-RM para Sentadilla Libre.

Objetivos:

General: Determinar la precisión y repetibilidad para estimar el 1-RM para sentadilla libre con barra de la aplicación My Lift (PowerLift), con el análisis de video en vista posterior con Kinovea y con el análisis de video en vista lateral con Kinovea.

Específico:

1. Determinar cuál de los tres métodos de estimación es más preciso y repetible para la estimación del 1-RM para sentadilla libre con barra.

Métodos: Se realizó un estudio cuantitativo, observacional, comparativo, transversal en hombres jóvenes universitarios. Se obtuvo la muestra por conveniencia, no aleatorizada de 8 basquetbolistas que pertenecen al primer equipo de basquetbol varonil liga mayor de la UNAM.

Para determinar la *precisión y repetibilidad* de estimación de los métodos indirectos para sentadilla libre con barra, se realizaron dos sesiones, en ambas sesiones se tomó video en cámara lenta en vista posterior y en cámara a velocidad normal en vista lateral, de 4 levantamientos con carga incremental e intervalos de descanso de 2 – 3 minutos entre cada levantamiento, se utilizó la App PowerLift en iPhone 5S con cámara de 240 fotogramas por segundo (fps) y 720 píxeles (p) para toma de video en vista posterior, una cámara GoPro Hero+3 con 120 fps y 720 p para toma de video en vista lateral y el análisis de videos se realizó con Kinovea versión beta 0.8.27 de acceso gratuito. Para determinar el 1-RM directo, durante la primera sesión, seguido de los levantamientos pre-establecidos, los sujetos continuaron realizando levantamientos con carga incremental hasta llegar a su 1-RM, mantuvieron los mismos intervalos de

descanso (2 – 3 min) entre cada levantamiento hasta que él sujeto no pudiera levantar la siguiente carga o perdiera la técnica al realizar la ejecución del levantamiento.

RESULTADOS

En la estimación del 1-RM de los diferentes métodos indirectos al compararlo con el 1-RM real determinado por el método directo, se obtienen los siguientes resultados:

Con la aplicación My Lift (PowerLift) para iPhone en la primera sesión se subestima el 1-RM en un 12.02% (16.4 kg) y en la segunda sesión se sobrestima 20.82% (26.1 kg), con una diferencia entre cada medición de 27.59% (36.15 kg). Con el análisis de video en vista posterior con Kinovea en la primera sesión se subestima el 1-RM en un 9.26% (12.55 kg) y en la segunda sesión un 11.97% (16.05 kg), con una diferencia entre cada medición de 5.20% (5.65 kg). Con el análisis de video en vista lateral con Kinovea en la primera sesión se sobrestima el 1-RM en un 26.04% (29.55 kg) y en la segunda sesión se sobrestima 21.84% (29.60 kg) con una diferencia entre cada medición de 3.45% (0.85 kg).

CONCLUSIÓN

Basado en los resultados de este estudio, parece que, en basquetbolistas varones jóvenes de la UNAM ninguno de los métodos utilizados en el estudio estima de forma precisa el 1-RM para sentadilla libre con barra, pero el análisis de video con Kinovea en vista lateral presenta mayor repetibilidad de medición con una diferencia de 3.45% entre la primera y segunda sesión.

INTRODUCCIÓN

Está bien establecido que la evaluación de una repetición máxima (1-RM) es un método válido y confiable para determinar la fuerza máxima, sin embargo, el tiempo asociado a la evaluación del 1-RM para equipos con un amplio número de jugadores puede ser problemático, los cambios en la fuerza máxima pueden cambiar rápidamente y realizar evaluaciones de forma frecuente puede consumir tiempo invaluable de entrenamientos ¹.

El objetivo principal de determinar el 1-RM es la prescripción del entrenamiento de fuerza para entrenadores y para el personal de salud, sin embargo, determinar de forma directa el 1-RM ha mostrado dificultades en ciertas poblaciones, principalmente en novatos y en la tercera edad, por lo que se han investigado por más de 60 años diversos métodos indirectos para estimar el 1-RM ^{2,3}. La estimación del 1-RM por métodos indirectos se ha descrito por dos métodos. El primer método que se describió fue por repeticiones al fallo y el método descrito recientemente, es el de la relación fuerza-velocidad, que ha mostrado en algunos estudios ser más preciso para la determinación del 1-RM ^{2,4,5}. Con el análisis de video se utiliza la relación fuerza-velocidad para estimar el 1-RM ⁶.

Debido a la practicidad y al bajo costo de utilizar una cámara de celular, un dispositivo de uso diario para la población general o una GoPro para algunos deportistas y a la importancia de la sentadilla en el rendimiento deportivo y calidad de vida, es importante conocer la precisión con que estos métodos pueden ayudar a estimar el 1-RM y ayudar a determinar la carga de entrenamiento para conseguir mejorar aspectos específicos del rendimiento deportivo o, simplemente, mejorar la calidad de vida ⁶⁻⁹.

MARCO TEÓRICO

UNA REPETICIÓN MÁXIMA

La fuerza máxima se define como la máxima fuerza o torque que un músculo o grupos de músculos pueden generar contra una resistencia insuperable ¹⁰. En cambio, una repetición máxima se define como la carga más pesada que se puede levantar solo una vez, dentro de una secuencia motora a través de un rango de movimiento completo con la técnica adecuada. En este sentido, el termino máximo, se refiere, a que, sin importar cuanto se intente, es imposible generar mayor fuerza.

El 1-RM es considerado el estándar de oro para evaluar la fuerza muscular en condiciones fuera de laboratorio ¹¹. El 1-RM es ampliamente utilizado por entrenadores como una forma práctica de determinar las cargas de trabajo con el fin de generar adaptaciones musculares enfocadas a la fuerza, también es utilizada ampliamente en la literatura científica para evaluar la fuerza muscular y los efectos de diferentes protocolos de entrenamiento ².

DETERMINACIÓN DE 1-RM

Debido a que el incremento en la fuerza muscular es el beneficio más importante del entrenamiento de contrarresistencia, una determinación precisa de la fuerza muscular es indispensable para la valoración de la fuerza y la eficacia del entrenamiento ¹¹. Los métodos para la evaluación de la máxima fuerza muscular incluyen los dinamómetros isométricos e isocinéticos, ambos métodos requieren equipo sofisticado de laboratorio y personal capacitado para su correcta utilización, además, estos métodos no permiten la evaluación de la fuerza en patrones de movimiento donde intervengan más de 1 articulación, en contraste, el 1-RM no requiere material sofisticado de laboratorio y utiliza los patrones de movimiento del ejercicio específico que se está evaluando ¹¹.

El 1-RM puede determinarse de forma directa o indirecta. El método directo consiste en ensayo y error, donde, el máximo peso que puede desplazar un sujeto es identificado por múltiples intentos, habitualmente 2 – 6 repeticiones con separación de periodos de recuperación completa, este protocolo es seguro cuando se realiza de forma correcta en términos técnicos, sin embargo, en sujetos con experiencia limitada en entrenamiento de fuerza, levantar un peso máximo puede producir dolor muscular o lesión debido a la tensión muscular y a una postura inestable³. Adicionalmente, determinar de forma directa el 1-RM en sujetos no entrenados consume gran cantidad de tiempo debido a los múltiples intentos que se necesitan para alcanzar el peso máximo, esto requiere repetir la prueba en 1 o 2 días después debido a la fatiga, además es posible que el peso máximo alcanzado no represente la fuerza máxima del sujeto, debido a otros factores que intervengan en la prueba, como concentración, miedo o motivación^{1,3,12}.

Como alternativa, ya se han descrito dos métodos indirectos para estimar el 1-RM, el más antiguo se conoce como “repeticiones al fallo”^{4,9,13,14}, este método consiste en realizar repeticiones con una carga submáxima hasta el fallo muscular y utiliza ecuaciones de regresión para estimar el 1-RM en base al peso en kilogramos (kg) utilizado y el número de repeticiones realizadas, sin embargo, realizar repeticiones al fallo puede inducir errores causados por fatiga y estrés mecánico, además, utilizar las ecuaciones de regresión con cargas que permitan muchas repeticiones antes de alcanzar el fallo muscular eleva la variabilidad y estima con menor precisión el 1-RM. La estimación más precisa se consigue con cargas más cercanas al 1-RM, que permitan realizar un máximo de 4 – 5 repeticiones hasta el fallo muscular³.

En la Tabla 1 se muestra una variedad de fórmulas de estimación del 1-RM, es importante mencionar que cada una presenta validez para diferentes ejercicios, por ej. la fórmula de Mayhew y cols. y Wathan son formulas validadas para determinar el 1-RM en press para pecho horizontal con barra y sentadilla libre con barra, el resto de las fórmulas subestiman el 1-RM en un 9 – 14%⁴.

Tabla 1. Ecuaciones de estimación del 1-RM para repeticiones al fallo muscular

Autor	Ecuación
Brzyzcki	$1\text{-RM} = 100 \cdot \text{peso} / (102.78 - 2.78 \cdot \text{reps})$
Epley	$1\text{-RM} = (1 + 0.33 \cdot \text{reps}) \cdot \text{peso}$
Lander	$1\text{-RM} = 100 \cdot \text{peso} / (101.3 - 2.67123 \cdot \text{reps})$
Lombardi	$1\text{-RM} = (\text{peso} \cdot \text{reps})^{0.1}$
Mayhew y cols.	$1\text{-RM} = (100 \cdot \text{peso}) / (52.2 + 41.9^{-0.055 \cdot \text{reps}})$
O'Conner y cols.	$1\text{-RM} = \text{peso} (1 + 0.25 \cdot \text{reps})$
Wathan	$1\text{-RM} = 100 \cdot \text{peso} / (48.8 + 53.8^{-0.075 \cdot \text{reps}})$

Nota: reps: número de repeticiones realizadas al fallo muscular; peso: es el peso en kilogramos.

El método reciente se describió en el 2011 por Jidovsteff y cols ¹⁵. este método utiliza la relación fuerza-velocidad y ya se encuentra validado en la literatura, sin embargo, se ha validado solamente en press para pecho en banca horizontal con máquina Smith y en press para pierna con un transductor de posición lineal. Los resultados en el estudio de Jidovsteff y cols ¹⁵ demuestran una estimación muy cercana al 1-RM con un coeficiente de correlación intraclase (CCI) de 0.93 y un error estimado estándar (EES) de 4% (7kg), mientras los resultados de Picerno y cols ² son más comprometedores y se resumen en la Tabla 2 ^{2,15,16}.

Tabla 2. Resultados de correlación entre el método directo y método basado en relación fuerza-velocidad para estimación del 1-RM por Picerno y cols

Ejercicio	Media en kg	CCI	Error estimado estándar en kg	Media de error absoluto en kg	Media de error absoluto en porcentaje	Valor de P
<i>Press para pecho</i>						
MD	99.5 (+27.0)	0.999	1.2	1.4	1.5	<0.001
FVM	100.8 (+27.2)					
<i>Press para pierna</i>						
DM	249.3 (+60.2)	0.999	2.1	1.8	0.8	<0.001
FVM	251-1 (+60.3)					

Nota: MD: Método directo; FVM: Método basado en la relación fuerza-velocidad. ²

TRANSDUCTOR DE POSICIÓN LINEAL O ENCODER LINEAL

Un transductor de posición lineal o encoder lineal (Figura 1) es un equipo electromecánico usado para determinar la velocidad de desplazamiento, específicamente de un movimiento rectilíneo, desde la posición inicial hasta la posición final ¹⁷. En la literatura científica los autores consideran que el encoder

lineal podría ser el *estándar de oro entre los métodos indirectos* (es el método más preciso entre los métodos indirectos, sin embargo, no es realmente el estándar de oro, el único método definitivo es el método directo por ensayo y error) para la determinación del 1-RM ^{15,18,19}.



Figura 1. Transductor de posición lineal o encoder lineal ¹⁶.

LA CURVA FUERZA-VELOCIDAD

La relación existente entre la fuerza y la velocidad fue descrita por primera vez en 1930 y hace referencia a la asociación entre la fuerza de contracción muscular y la velocidad de contracción muscular, describe que; a mayor carga, la fuerza de contracción que tiene que generar el músculo es superior (hasta el nivel que solicite la carga), mientras que la velocidad de contracción será menor ²⁰. Este fenómeno lo ha experimentado cualquier persona que haya entrenado fuerza con series con cargas en aumento progresivo, conforme la carga aumenta, lo hace la fuerza de contracción muscular, pero lo hace a expensas de la velocidad de contracción muscular. Es así que, en los extremos, un ejercicio con poco peso, por ejemplo, una barra sin peso agregado puede ser levantada con una gran velocidad, mientras una repetición máxima puede ser levantada una sola vez a una velocidad reducida ¹⁰.

Es aparente que cualquier cambio en la curva fuerza-velocidad, específicamente un desplazamiento a la derecha de la curva va a generar repercusiones importantes en la producción de potencia, y, por

consecuencia, en el rendimiento deportivo, en la Figura 2 se muestra la representación de la curva fuerza-velocidad y los efectos del entrenamiento.

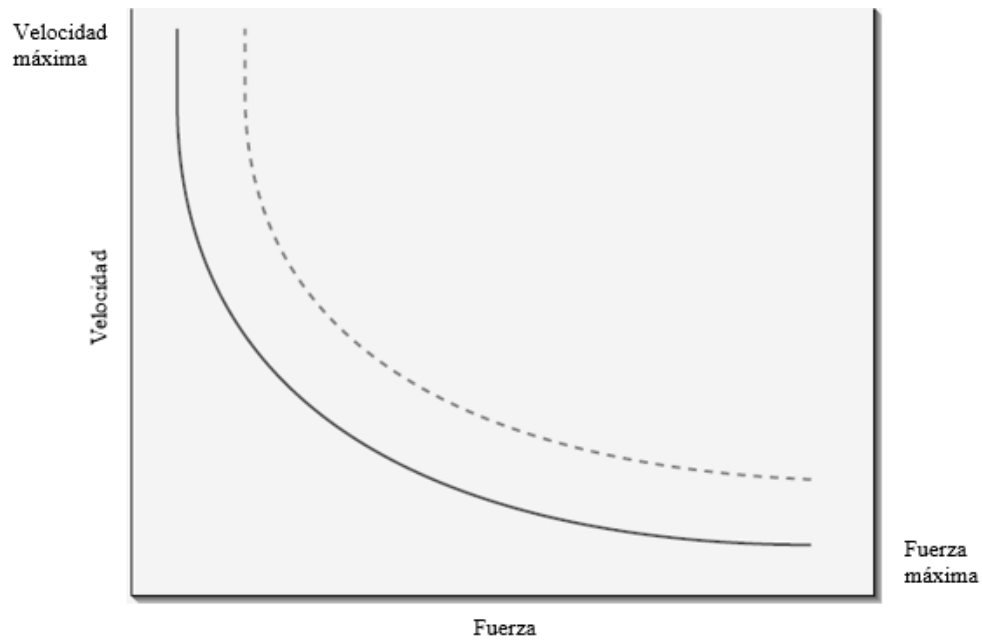


Figura 2. La curva fuerza-velocidad. La línea continua representa la clásica relación inversa entre la fuerza que ejerce un músculo y su velocidad de contracción. La línea punteada representa el desplazamiento a la derecha que caracteriza la adaptación de un entrenamiento de fuerza y velocidad (potencia) ¹⁰.

No es sorprendente que las investigaciones relacionadas a la fuerza y potencia utilicen la relación fuerza-velocidad. Numerosas investigaciones demuestran que el entrenamiento de contrarresistencia puede resultar en alteraciones en la forma de la curva fuerza-velocidad. Un entrenamiento de contrarresistencia con cargas elevadas (80 – 100% del 1-RM) resulta en un desplazamiento de la curva a la derecha, mientras que entrenamientos explosivos con cargas ligeras (30 -60% del 1-RM) resulta en un desplazamiento de la curva hacia arriba (Fig. 3) ^{10,20-23}.

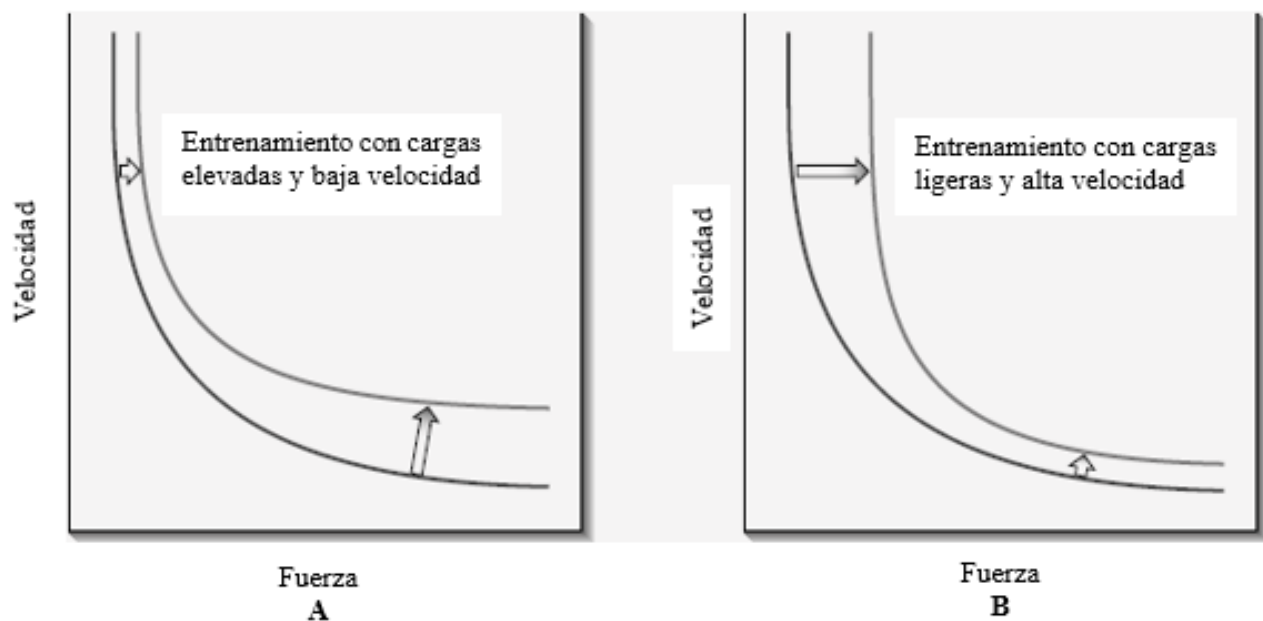


Figura 3 (A) Un programa de entrenamiento enfocado en ejercicios con cargas elevadas tiende a presentar un desplazamiento de la curva a la derecha. (B) Un programa de entrenamiento enfocado a la velocidad, por naturaleza explosivo, tiende a presentar un desplazamiento de la curva hacia arriba ¹⁰.

LA SENTADILLA LIBRE CON BARRA

La sentadilla libre con barra es un ejercicio ampliamente investigado y utilizado por la relación que presenta en la mejora de habilidades individuales, desarrollo de competencias biomecánicas en diversas actividades y disminución del riesgo de lesiones. El patrón de movimiento de la sentadilla se requiere en actividades de la vida diaria como sentarse, levantarse, cargar objetos y en la mayoría de las actividades deportivas ⁷. Además, la sentadilla puede ayudar a personas jóvenes y mayores a mejorar la condición física y la salud. El adulto y la población de la tercera edad pueden emplear la sentadilla para promover la independencia en las actividades de la vida diaria, basado en los beneficios a largo plazo de realizar sentadilla libre con barra, el momento ideal para dominar la técnica de ejecución es, posiblemente, en la adolescencia, cuando el sistema neuromuscular presenta alta capacidad de neuroplasticidad ⁸. En relación a lo anterior la sentadilla libre con barra cumple una doble función, como un ejercicio fundamental en el entrenamiento y como una herramienta de valoración de la fuerza muscular del miembro inferior y calidad de vida ²⁴.

Además de todo lo anterior, la sentadilla libre con barra es un ejercicio multiarticular, que involucra grandes grupos musculares. En concreto, los músculos principalmente involucrados durante la ejecución de la sentadilla libre con barra son: cuádriceps femoral, aductor magno, sóleo y glúteo máximo (Fig. 4)

7,8.



Figura 4. Sentadilla libre con barra y los grupos principales de los miembros pélvicos que participan en su ejecución ^{7,8}.

MY LIFT APP (POWERLIFT)

La aplicación My Lift, originalmente comenzó con el nombre de PowerLift, un año después de su creación, se cambió a su nombre actual (My Lift) sin cambiar el resto de su interfase. Esta es una aplicación exclusiva para iPhone que se desarrolló con Xcode App 7,3.1 para Mac OS X 10.11.5 que incluye el lenguaje de programación Swift 2.1.1 de Apple Inc. Posteriormente se instaló en iPhone 6 con iOS 9.3.2, con una capacidad de grabación de 240 fotogramas por segundo (fps) y una calidad de 720 píxeles (p) ⁶.

My Lift fue validada para la estimación del 1-RM en el año 2017, sin embargo, el protocolo de investigación con el que se realizó la validación utilizó el press de banca horizontal en máquina Smith,

por lo que el uso para la estimación del 1-RM en sentadilla libre con barra carece de bibliografía que respalde su utilización.

Para calcular la velocidad, PowerLift permite determinar el tiempo entre 2 fotogramas seleccionados por el usuario y subsecuentemente la velocidad de desplazamiento de la barra se calcula con la ecuación Newtoniana:

$$v = d / t \quad (2)$$

donde v representa la velocidad de la barra en metros por segundo ($m \cdot s^{-1}$), d la distancia vertical desde el pecho del atleta a la barra en la posición final del press de banca horizontal (el rango completo de movimiento ROM, *range of motion*, por sus siglas en inglés, - el cual debe ser ingresado en la aplicación) y t el tiempo de la fase concéntrica de levantamiento ².

Para calcular el 1-RM utilizando la aplicación PowerLift utiliza un algoritmo matemático el cual requiere 4 cargas submaximas con la velocidad de desplazamiento correspondiente para cada levantamiento, con estos datos se realiza un perfil carga-velocidad utilizando la siguiente ecuación de regresión lineal:

$$v = sm + i \quad (3)$$

donde v representa la velocidad de la barra en $m \cdot s^{-1}$, m la masa de la carga en kilogramos (kg), s la pendiente de la ecuación en línea recta e i la intercepción de Y. Al despejar m de la fórmula:

$$m = (v - i) / s \quad (4)$$

En donde m representa el 1-RM en este caso ².

KINOVEA, MOTION TUNER

Kinovea es un programa de reproducción de video para analistas deportivos que provee una serie de herramientas que permiten capturar, ralentizar, estudiar, comparar, anotar y medir parámetros relacionados al rendimiento deportivo ²⁵.

Kinovea se organiza en torno a cuatro misiones principales relacionadas al estudio del movimiento humano: captura, observación, anotación y medición ²⁵.

El reproductor de video se basa en las bibliotecas FFMpeg (software libre que puede grabar y convertir cualquier formato de audio y video) y por lo tanto, puede leer casi cualquier formato de video, las imágenes estáticas reciben tratamiento especial y se convierten en videos de 10 segundos para permitir múltiples páginas de anotaciones en una sola imagen ²⁵.

Observación: El tiempo en Kinovea se puede representar en varias unidades, como el número de cuadros, los milisegundos totales desde el inicio o un formato de código de tiempo clásico. Para los videos que ya están en cámara lenta porque se han capturado con una cámara de alta velocidad, la escala de tiempo se puede ajustar a la velocidad de cuadros de la captura y todos los tiempos del programa reflejarán los valores en tiempo real. También es posible realizar transformaciones de imagen: girar, enfocar, espejo, desentrelazado, fijar en relación de aspecto, comparar videos, sincronizar y sobreponer ^{25,26}.

Anotación: Crear imágenes clave en tiempo de interés e incluir comentarios, anotaciones, números, líneas, curvas, marcadores, dibujos, etc. Las herramientas avanzadas se pueden crear desde cero utilizando un potente marco de herramientas personalizadas, estas pueden incluir puntos de seguimiento, calculados, mediciones de distancias y ángulos, menús de visibilidad, estilos y colores, entre otras funciones adicionales ^{25,26}.

Medición: Permite medir intervalos de tiempo con el cronómetro, distancias y ángulos con herramientas de línea, ángulo y goniómetro, además se puede ampliar la imagen para realizar la medición con precisión de subpíxel. De forma adicional se puede utilizar una calibración basada en cuadrícula potente que permite sistemas de coordenadas, lo que permite realizar mediciones incluso si el plano de movimiento no está alineado con la cámara ^{25,26}.

Captura: Permite capturar y grabar transmisiones de cámara. La interfaz principal se puede configurar para una sola cámara, dos cámaras o una cámara y una pantalla de reproducción. Algunas herramientas

de anotación se pueden utilizar en la pantalla de captura para crear guías de alineación y obtener comentarios en vivo. La grabación se puede configurar para guardar lo que se muestra en la pantalla en el momento en que se muestra, incluyendo el retardo en vivo y las anotaciones, o se puede configurar para guardar los marcos de la cámara directamente, para el máximo rendimiento y precisión de la velocidad de los cuadros ^{25,26}.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La fuerza es el componente más importante en la mayoría de los deportes, un entrenamiento de fuerza tiene como objetivo el incrementar el rendimiento del atleta para la competencia. En el entrenamiento de fuerza el estímulo más importante para la adaptación a la fuerza es la resistencia utilizada (carga) y, conociendo la máxima contracción voluntaria, se puede decidir el número de repeticiones posible. Así, un número de repeticiones hasta el fallo muscular (nRM) o un porcentaje del 1-RM (%RM) es el método más simple para determinar la resistencia (carga) ¹⁰.

Debido al desarrollo constante de la tecnología y al fácil acceso a esta por la población general, diversos métodos para el entrenamiento de la fuerza se desarrollan constantemente, algunos ya se han validado, mientras otros están en proceso de validación. En especial, para estimación del 1-RM se han desarrollado aplicaciones que facilitan su cálculo ^{1,2,5,6,11,15-17,25,27-29}.

Por lo anterior, es importante conocer los diferentes métodos utilizados para determinar la carga de entrenamiento, cual es el más preciso, práctico y seguro de estos métodos para conseguir las adaptaciones específicas según las demandas del deporte del atleta con el menor riesgo de lesión o sobre-entrenamiento posible.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál de los métodos es más preciso y repetible para estimar el 1-RM en sentadilla libre con barra?

HIPÓTESIS

La estimación del 1-RM para sentadilla libre con barra presenta menor precisión y repetibilidad con la aplicación MyLift (PowerLift) que con el análisis de video con Kinovea.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la precisión y repetibilidad para estimar el 1-RM para sentadilla libre con barra de la aplicación My Lift (PowerLift), análisis de video en vista posterior con Kinovea y análisis de video en vista lateral con Kinovea.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar cuál de los tres métodos de estimación es más preciso y repetible para la estimación del 1-RM para sentadilla libre con barra.

JUSTIFICACIÓN

En el 2017 se publicó un artículo sobre la validez y confiabilidad de una nueva aplicación para iPhone, MyLift (PowerLift) para la estimación del 1-RM. Lo anterior se realiza utilizando el método indirecto considerado estándar de oro para la determinación del 1-RM¹⁶. En su metodología utilizan el ejercicio de press para pecho en banca horizontal con barra y la cámara del iPhone (en vista posterior) con capacidad de 240 FPS para determinar con mayor precisión el inicio y el final de la ejecución (Figura 5A), con esto se determina el tiempo (en milisegundos) de la fase concéntrica de la ejecución. El rango de movimiento (ROM, por sus siglas en inglés) se mide de forma manual con una cinta métrica (Figura 5B) y se introducen a la interfase de la aplicación, esta medición se utiliza para calcular la velocidad de ejecución durante en todas las mediciones que se realicen. Con la medición de 4 levantamientos con cargas incrementales se estima el 1-RM de acuerdo a fórmulas de regresión lineal descritas en la literatura². Los resultados de su estudio presentan una reproducibilidad de 0.98 y confiabilidad de 0.96⁶.



Figura 5. A) Interfase de aplicación MyLift donde se muestra la vista de toma de video y los botones de selección de fotograma inicial y final. B) Ejemplo de medición de la aplicación My Lift para determinar el rango de movimiento de la sentadilla libre con barra⁶.

A pesar de haber validado la utilización de la aplicación para la estimación del 1-RM exclusivamente con el ejercicio de press para pecho en banca horizontal con barra, los desarrolladores de la aplicación agregan las opciones de estimar el 1-RM en 6 ejercicios (Fig. 6) los 5 ejercicios además del press para pecho son: sentadilla libre con barra, peso muerto con barra, puentes, dominadas y press militar con barra. La validez y confiabilidad de la aplicación es cuestionable para estos ejercicios por no haber sido incluidos en la metodología del estudio, además, en sentadilla libre con barra, press militar y puentes, se presentan componentes angulares durante la ejecución del ejercicio ^{1,6}.



Figura 6. Interfase de aplicación MyLift donde se muestra la variedad de ejercicios a seleccionar para la estimación del 1-RM ⁶.

Debido a que la aplicación My Lift permite la determinación del tiempo de ejecución a través de fotogramas, no es capaz de tomar en cuenta los componentes horizontales que presentan algunos ejercicios, por lo que una vista lateral permitirá el seguimiento de la barra durante todo su desplazamiento en componentes verticales y laterales, motivo por el cual utilizar una cámara GoPro de forma simultánea para realizar un análisis de video posterior con Kinovea para determinar la velocidad y estimar el 1-RM con la misma fórmula de regresión lineal que utiliza la interfase de la aplicación My Lift y comparar los resultados de estimación del 1-RM para sentadilla libre con barra ²⁵.

Con Kinovea es posible medir el desplazamiento en cada ejecución, realizar seguimiento de la trayectoria de la barra y cronometrar el tiempo en milisegundos (Figura 7) ²⁵.

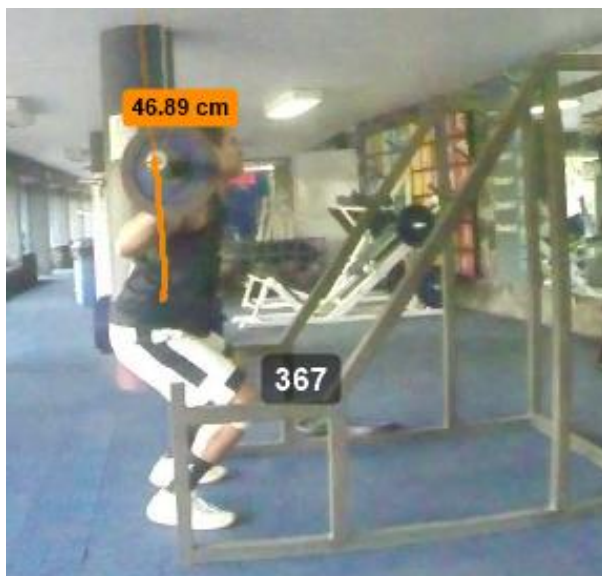


Figura 7. Ejemplo de seguimiento de trayectoria de la barra en centímetros y con cronometraje en milisegundos con Kinovea.

MÉTODOS

TIPO DE ESTUDIO

Se realizó un estudio cuantitativo, observacional, comparativo y transversal.

PARTICIPANTES

La muestra se seleccionó por conveniencia, de acuerdo con los que se interesaron en participar en el estudio, cumplían los criterios de inclusión y no presentaban criterios de exclusión. Los participantes del presente estudio fueron 12 sujetos, basquetbolistas del primer equipo representativo de basquetbol varonil de la UNAM, con una media de edad de 21 ± 1.8 años, con experiencia de al menos 1 año en entrenamiento de fuerza y al menos 3 meses de experiencia con pesos libres. Durante el periodo de familiarización con la técnica 3 sujetos presentaron dificultad para conseguir realizar de forma adecuada la técnica de ejecución, por lo que fueron excluidos del estudio. Quedando para el estudio 9 sujetos, sin embargo, con 1 sujeto se presentaron problemas técnicos con algunos de sus videos y no se consiguió analizar sus datos, por lo que no se incluyó en el análisis estadístico, finalmente en el análisis estadístico se incluyen solo 8 sujetos (Fig. 8).

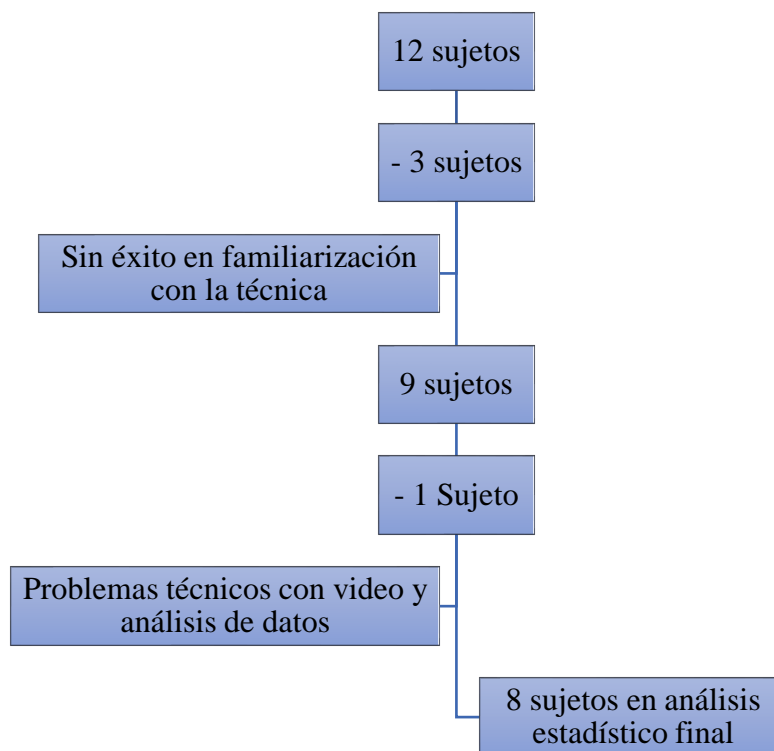


Figura 8. Proceso de exclusión de sujetos participantes en el estudio.

Tabla 3. Características de los Sujetos

	Media	Desv.Est.	Mínimo	Máximo
Edad (años)	21.000	± 1.852	18.000	22.000
Peso (kg)	80.65	± 9.91	65.00	94.80
Talla (m)	1.8213	± 0.0584	1.7300	1.9200
IMC (kg/m²)	24.265	± 2.303	21.718	27.459

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Al menos 1 año de experiencia en entrenamiento de fuerza.
- Al menos 3 meses de experiencia en entrenamiento de fuerza con pesos libres.
- Tener más de 18 años de edad.
- Ser parte de algún equipo representativo de la UNAM.
- Con diagnóstico clínicamente apto.
- Conseguir realizar la técnica adecuada de ejecución de sentadilla libre con barra durante el proceso de familiarización con la misma.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- No cumplir con 1 año de experiencia en entrenamiento de fuerza.
- No cumplir con 3 meses de experiencia en entrenamiento de fuerza con pesos libres.
- Tener menos de 18 años de edad.
- No ser parte de algún equipo representativo de la UNAM.
- Padecer alguna enfermedad crónico-degenerativa.
- Padecer alguna enfermedad metabólica.
- Consumo de medicamentos o suplementos alimenticios que afecten el rendimiento físico.
- Haber realizado ejercicio de alta intensidad el día previo a la evaluación.

CRITERIOS DE ELIMINACIÓN

- No conseguir realizar la técnica adecuada de ejecución de sentadilla libre con barra durante el proceso de familiarización con la misma.
- Presentar errores técnicos con archivos de video para su análisis con Kinovea.

EQUIPO UTILIZADO

Durante las evaluaciones se utilizó:

- Jaula para sentadilla libre.
- Barra olímpica de 2.2 metros de longitud, 28 mm de diámetro y 20.4 kg de peso.
- Set de discos de metal:
 - 6 discos de 11.3 kg.
 - 2 discos de 5 kg.

- iPhone 5s, con cámara de 240 fps y 720 p, colocado en trípode a tres metros de distancia en vista posterior al sujeto.
- GoPro Hero+3, con 120 fps y 720 p, colocado en trípode a 3 metros de distancia y con 84 cm de altura en vista lateral al sujeto.

PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Previo a comenzar las mediciones del estudio, **se realizó** un periodo de familiarización con la técnica de ejecución de sentadilla libre, donde **se realizó** una clase inicial de demostración de la técnica con los puntos clave para una correcta ejecución de la misma (Fig. 9), los cuales están descritos en la literatura científica ⁸. La duración del periodo de familiarización fue de 2 semanas, con 6 sesiones en total, en cada sesión se hacían correcciones a la técnica hasta que el sujeto consiguiera una adecuada ejecución del ejercicio, en caso de quienes no lo consiguieron, se eliminaron del estudio.



Figura 9. Ejemplo de adecuada técnica de ejecución de sentadilla libre con barra.

Concluido el periodo de familiarización se realizaron las mediciones, en 2 evaluaciones con una semana de separación entre cada una. En cada sesión se tomó video, en cámara lenta en vista posterior y video en cámara a velocidad normal en vista lateral, ambos a una distancia de tres metros del sujeto. En cada sesión se realizó un calentamiento previo estandarizado que consistía en un calentamiento general de 10

minutos y un calentamiento específico de 3 series de 15 repeticiones de sentadilla con propio peso, realizado el calentamiento se procedió a realizar las mediciones. Durante las mediciones, cada sujeto realizó 4 levantamientos de sentadilla libre con barra con cargas pre-establecidas de forma ascendentes (Tabla 4), no individualizadas, entre cada levantamiento se tomó un intervalo de descanso de 2 – 3 minutos. En la primera evaluación se continuó realizando levantamientos de forma incremental, con el mismo intervalo de descanso hasta el fallo en la ejecución del ejercicio, el peso utilizado en el levantamiento previo al intento fallido es el que se determinó como el 1-RM real.

Tabla 4. Kilogramos de Carga por Levantamiento

Carga No.	N	Peso (kg)
Levantamiento 1	8	43.600
Levantamiento 2	8	66.200
Levantamiento 3	8	88.800
Levantamiento 4	8	98.800

Los centímetros del rango de movimiento para la aplicación My Lift se midieron según las indicaciones de la aplicación para su medición “*mide la distancia vertical desde la barra en la posición más baja de la sentadilla hasta la barra en la posición final*”, una vez medido, el rango de movimiento se introduce el dato a la aplicación y permanece constante durante todas las mediciones del ejercicio (Figura 10).

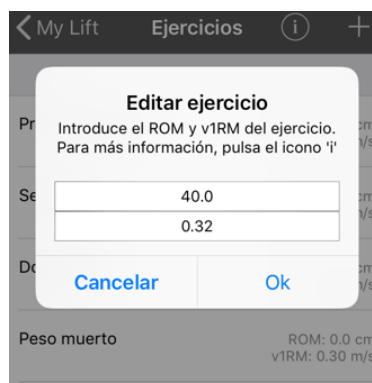


Figura 10 Interfase de la aplicación My Lift donde se muestra donde se introduce el ROM del ejercicio.

Durante la captura de cada uno de los videos (64 videos en total) tomados con el iPhone desde una posición posterior al sujeto a 3 metros de distancia, en la aplicación My Lift, se seleccionó, a criterio del operador, el momento de inicio del ROM en la fase concéntrica y el momento final del ROM, el tiempo que transcurre entre el fotograma de inicio y el fotograma final es el tiempo de la fase concéntrica de la ejecución del ejercicio (Figura 11 A y B). Inmediatamente después de seleccionar el fotograma final aparece en la interfase de la aplicación una pantalla donde solicita ingresar la carga utilizada durante el ejercicio (Figura 11 C).

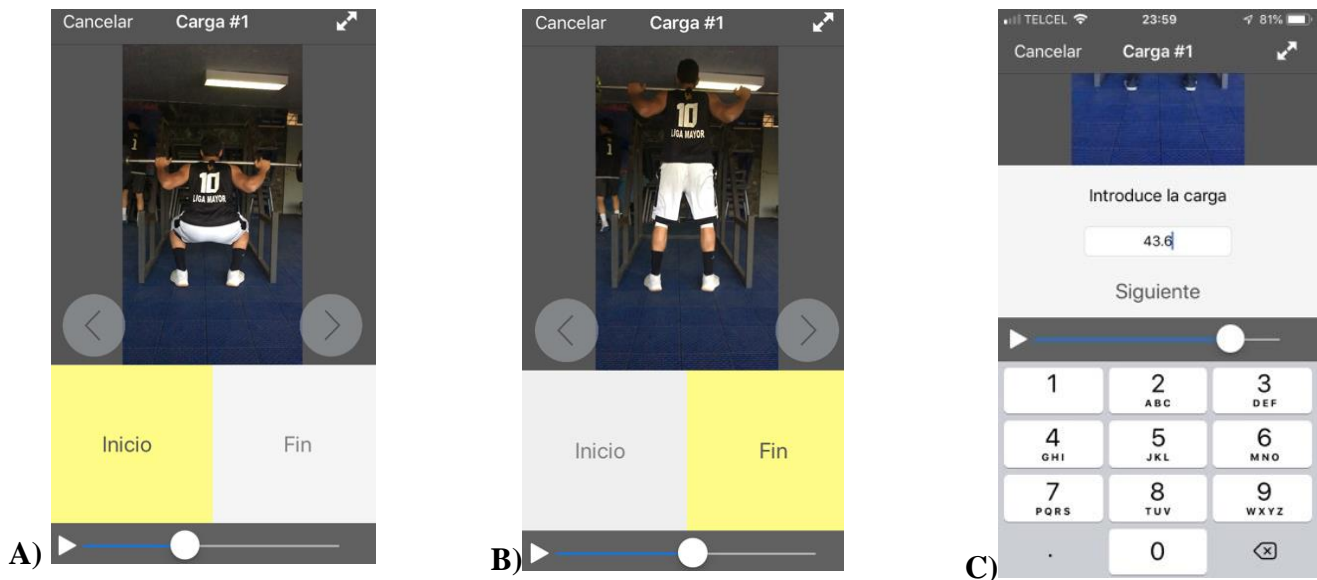


Figura 11 Interfase de la aplicación My Lift. A) Selección de fotograma de inicio del ROM. B) Selección de fotograma del momento final del ROM. C) Introducción de la carga en Kg.

El mismo procedimiento se realiza con las siguientes tres cargas progresivas, seguido, la aplicación arroja una estimación del 1-RM (Figura 12), a una velocidad de 0.32 m/s, a través de una fórmula de regresión lineal validada en la literatura ^{15,19}.

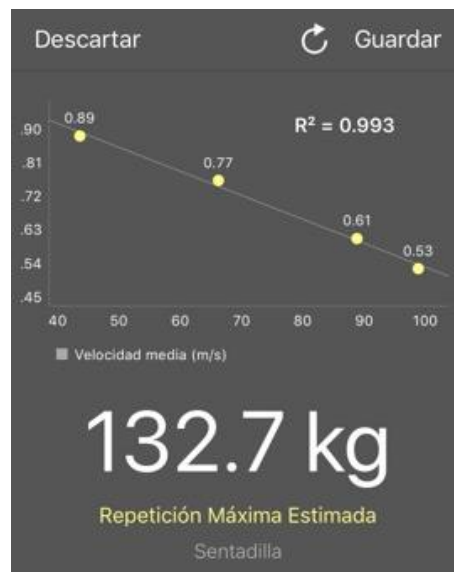


Figura 12. Interfase de la aplicación My Lift donde se muestra el resultado del 1-RM estimado.

Para el análisis de video en vista posterior con Kinovea versión beta 0.8.27, se utilizaron los mismos videos tomados con el iPhone (64 videos) desde una posición posterior al sujeto a 3 metros de distancia. Los videos fueron analizados por el mismo operador. El ROM se midió bajo las mismas indicaciones de la aplicación My Lift; de forma vertical, “*de la posición más baja de la barra, hasta la barra en la posición final*”, en esta ocasión, el ROM se tomó en cada video, con una referencia fija y conocida dentro de los videos (Figura 13 A y B). A la par, con la distancia se tomó el tiempo de ejecución de la fase concéntrica del ejercicio (Figura 13 B).



Figura 13. A) Referencia utilizada en el análisis de video en vista posterior con Kinovea para medir el ROM y referencia de la posición más baja de la barra. B) Tiempo (ms) de ejecución de la fase concéntrica del ejercicio y posición de la barra en la posición final.

A partir de los datos obtenidos en el análisis de video en vista posterior con Kinovea se calculó la velocidad de ejecución de la fase concéntrica del ejercicio a partir de la fórmula Newtoniana $v = d / t$. Con la velocidad de ejecución del ejercicio, se procede a la introducción de los datos de forma manual a la aplicación My Lift para el cálculo de la estimación del 1-RM a través de la misma fórmula de regresión lineal utilizada previamente (Figura 14).

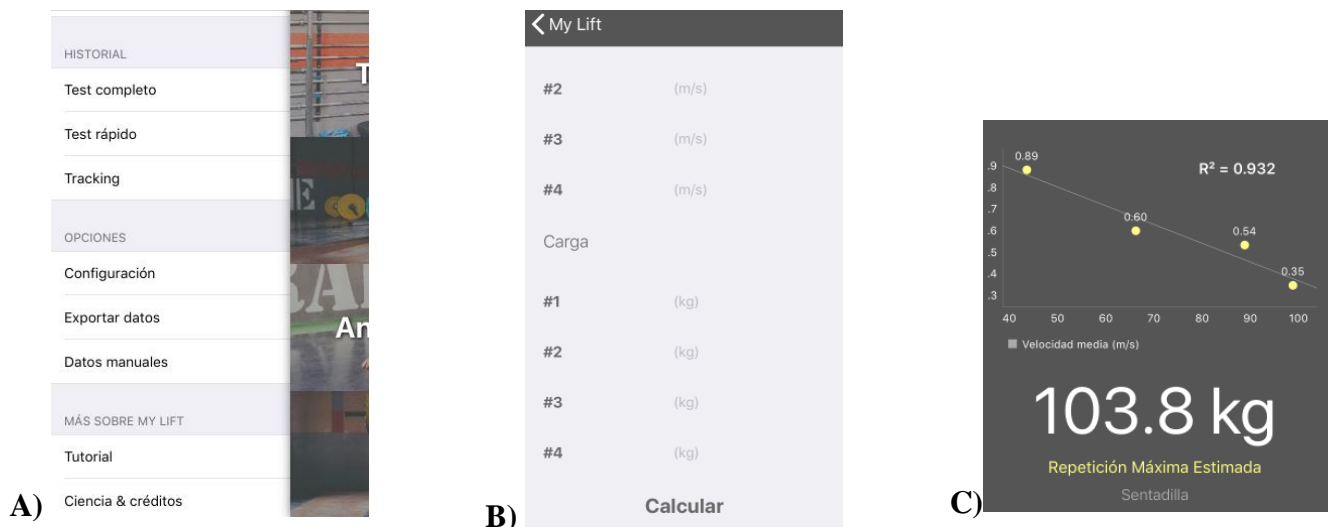


Figura 14 Interfase de aplicación My Lift donde se muestra: A) Menú: donde se incluye la opción de introducción de datos de forma manual. B) Pantalla de ingreso de datos, la parte inicial solicita la velocidad en m/s y la segunda parte solicita la carga en kg utilizada en cada levantamiento. C) 1-RM estimado a través de la fórmula de regresión lineal, con los datos introducidos de forma manual.

Los resultados obtenidos de estimación del 1-RM se introducen a la base de datos para el análisis estadístico.

En el análisis de video en vista lateral con Kinovea, se analizaron 64 videos tomados en una vista lateral a 3 metros de distancia del sujeto, en donde el ROM se midió con seguimiento de la trayectoria de la barra, con las mismas especificaciones de la aplicación My Lift, “de la posición más baja de la barra, hasta la barra en la posición final” y el tiempo en milisegundos, el transcurrido entre el fotograma inicial y el fotograma final (Fig. 15). A partir de los datos obtenidos en el análisis de video en vista lateral con Kinovea se calculó la velocidad de ejecución de la fase concéntrica del ejercicio a partir de la fórmula Newtoniana $v = d / t$. Con la velocidad de ejecución del ejercicio, se procede a la introducción de los datos de forma manual a la aplicación My Lift para el cálculo de la estimación del 1-RM a través de la misma fórmula de regresión lineal utilizada en los métodos previos (Figura 14).

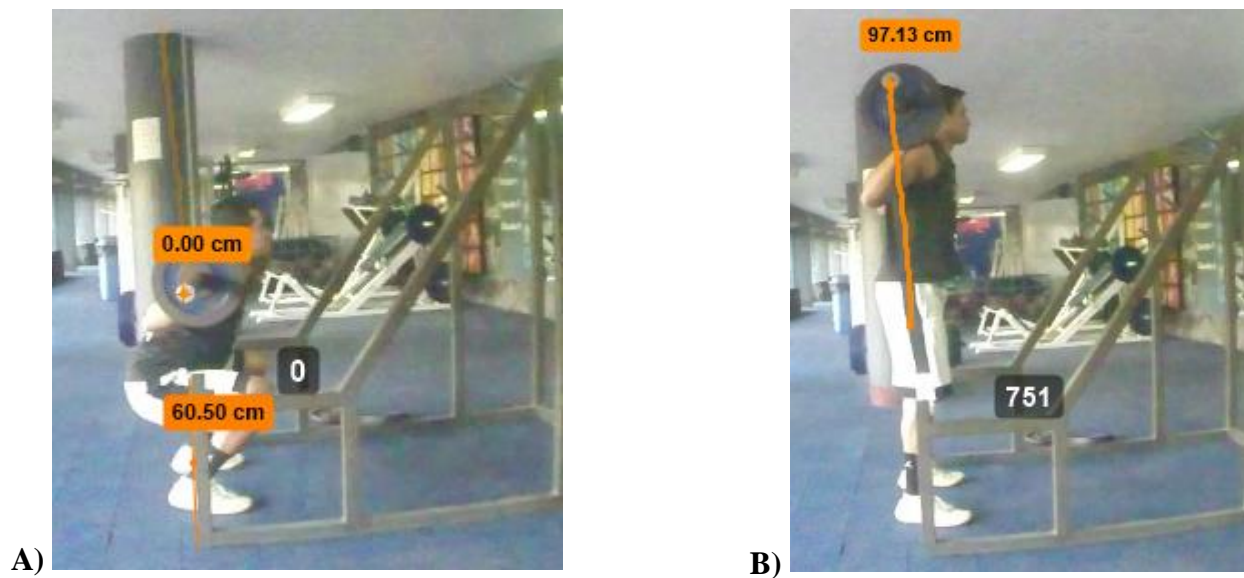


Figura 15. Muestra de recolección de datos a partir del análisis de video en vista lateral con Kinovea. A) Determinación de referencia, inicio de cronómetro y de seguimiento de trayectoria de la barra “posición más baja de la barra”. B) ROM en centímetros y tiempo de ejecución de la fase concéntrica en ms “la barra en la posición final”.

PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos recolectados fueron analizados utilizando el programa estadístico Minitab 18.1 versión de prueba gratuita por 30 días. Se utilizaron pruebas no paramétricas (Wilcoxon) para determinar medidas de tendencia centrales (medianas) y se compararon tendencias centrales de las diferencias entre el 1-RM directo y los métodos indirectos, además se compararon las tendencias centrales de las diferencias intra – métodos. Se realizó la prueba de Bland-Altman para valorar la distribución de las variables.

DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 4. Definición de las Variables

Variable	Descriptiva	Operacional	Cuantitativas (continua/discontinua)
1 – RM	Carga más pesada que se puede levantar una sola vez en un rango de movimiento completo, con la técnica adecuada.	Kilogramos (kg)	Continua
Carga 1	Carga utilizada en el primer levantamiento.	Kilogramos (kg)	Continua
Carga 2	Carga utilizada en el segundo levantamiento.	Kilogramos (kg)	Continua
Carga 3	Carga utilizada en el tercer levantamiento.	Kilogramos (kg)	Continua
Carga 4	Carga utilizada en el cuarto levantamiento.	Kilogramos (kg)	Continua
Velocidad de ejecución	Velocidad en la que se genera un rango de movimiento completo durante la fase concéntrica de la contracción.	Metros/segundos (m/s)	Continua
1 – RM estimado	Valor de la repetición máxima estimada	Kilogramos (kg)	Continua
1 – RM estimado por aplicación My Lift	Valor estimado de la repetición máxima por análisis de video con la aplicación My Lift.	Kilogramos (kg)	Continua
1 – RM estimado por análisis de video con Kinovea	Valor estimado de la repetición máxima por análisis de video con Kinovea en vista posterior o lateral.	Kilogramos (kg)	Continua

RESULTADOS

Por el método directo de medición se obtuvo una mediana de 1-RM de 125.7 kg de peso. La distribución de las frecuencias se muestra en Figura 16.

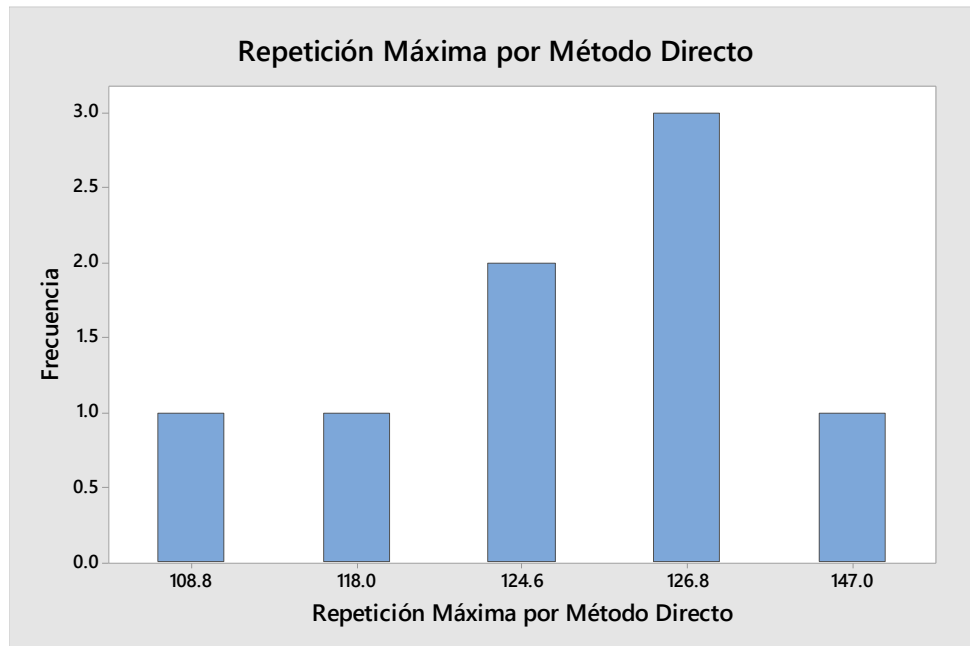


Figura 16. 1-RM determinado por método directo.

En la estimación del 1-RM por la aplicación My Lift en la primera sesión se obtuvo una mediana de 114.72 kg de 1-RM, en la segunda sesión una mediana de 174.85 kg de 1-RM, con el análisis de los mismos videos con Kinovea se obtuvo, en la primera sesión una mediana de 116.82 kg de 1-RM y en la segunda sesión una mediana de 109.37 kg de 1-RM. Con el análisis de los videos en vista lateral con Kinovea se obtuvo, en la primera sesión una mediana de 152.95 kg de 1-RM y en la segunda sesión una mediana de 151.7 kg de 1-RM. La estadística descriptiva se muestra en la tabla 5.1

Tabla 5. 1-RM real y 1-RM estimado en Kg por Distintos Métodos de Medición

Sujeto	1-RM real (kg)	Aplicación My Lift			Análisis de video con Kinovea vista posterior			Análisis de video con Kinovea vista lateral		
		Sesión 1	Sesión 2	Diferencia	Sesión 1	Sesión 2	Diferencia	Sesión 1	Sesión 2	Diferencia
Sujeto 1	124.6	99.0	113.4	14.4	98.8	98.8	0.0	127.3	129.1	1.8
Sujeto 2	108.8	99.8	131.0	31.2	102.9	98.8	4.1	132.0	131.0	- 1
Sujeto 3	126.8	100.2	132.7	32.5	111.6	101.6	- 10	136.7	141.7	5
Sujeto 4	126.8	103.1	140.0	36.9	112.7	105.4	- 7.3	149.2	151.4	2.2
Sujeto 5	126.8	116.0	162.4	46.4	114.2	107.4	- 6.8	157.8	152.6	5.2
Sujeto 6	147.0	123.8	217.9	94.1	123.1	116.8	- 6.3	168.1	160.5	- 7.6
Sujeto 7	124.6	145.5	235.0	89.5	133.8	120.3	- 6.5	170.6	171.1	0.5
Sujeto 8	118.0	178.6	271.4	92.8	136.8	133.1	- 3.7	181.0	178.2	- 2.8

En la estimación del 1-RM de los diferentes métodos indirectos al compararlo con el 1-RM real determinado por el método directo, se obtienen los siguientes resultados:

Con la aplicación My Lift (PowerLift) para iPhone en la primera sesión se subestima el 1-RM en un 12.02% (16.4 kg) y en la segunda sesión se sobrestima 20.82% (26.1 kg), con una diferencia entre cada medición de 27.59% (36.15 kg) (Tabla 6, 7 y 8). Con el análisis de video en vista posterior con Kinovea en la primera sesión se subestima el 1-RM en un 9.26% (12.55 kg) y en la segunda sesión un 11.97% (16.05 kg), con una diferencia entre cada medición de 5.20% (5.65 kg) (Tabla 6, 7 y 8). Con el análisis de video en vista lateral con Kinovea en la primera sesión se sobrestima el 1-RM en un 26.04% (29.55 kg) y en la segunda sesión se sobrestima 21.84% (29.60 kg) con una diferencia entre cada medición de 3.45% (0.85 kg) (Tabla 6, 7 y 8).

Tabla 6. Error estimado en porcentaje por método de estimación indirecto

Método de Estimación	Sesión	N	Mediana	IC de 95%	Valor p
Aplicación PowerLift	1	8	-12.02	(-19.48, 21.54)	0.018
	2	8	20.82	(5.36, 79.64)	0.018
Análisis de Video con Kinovea Vista Posterior	1	8	-9.26	(-15.92, 4.96)	0.431
	2	8	-11.97	(-18.45, -5.10)	0.431
Análisis de Video con Kinovea Vista Lateral	1	8	26.04	(5.93, 36.91)	0.793
	2	8	21.84	(12.08, 28.70)	0.793

Tabla 7. Error estimado en kg por método de estimación indirecto

Método de Estimación	Sesión	N	Media	IC de 95%	Valor p
Aplicación PowerLift	1	8	-16.4	(-24.45, 25.5)	0.018
	2	8	26.1	(6.35, 95.1)	0.018
Análisis de Video con Kinovea Vista Posterior	1	8	-12.55	(-19.90, 5.40)	0.431
	2	8	-16.05	(-23, -5.6)	0.431
Análisis de Video con Kinovea Vista Lateral	1	8	29.55	(7.40, 46.00)	0.793
	2	8	26.60	(14.90, 37.75)	0.793

Tabla 8. Diferencias en porcentaje entre la primera y la segunda medición intra – método

Método	Media	IC de 95% para la diferencia	Valor de P
Aplicación PowerLift	-27.59	(-80.40, -12.5)	0.018
Análisis de video con Kinovea VP	5.20	(-6.21, 16.94)	0.431
Análisis de video con Kinovea VL	3.45	(-16.53, 16.16)	0.793

La representación gráfica de la dispersión de los datos intra – método se muestra en la Figura 17, Figura 18 y Figura 19.

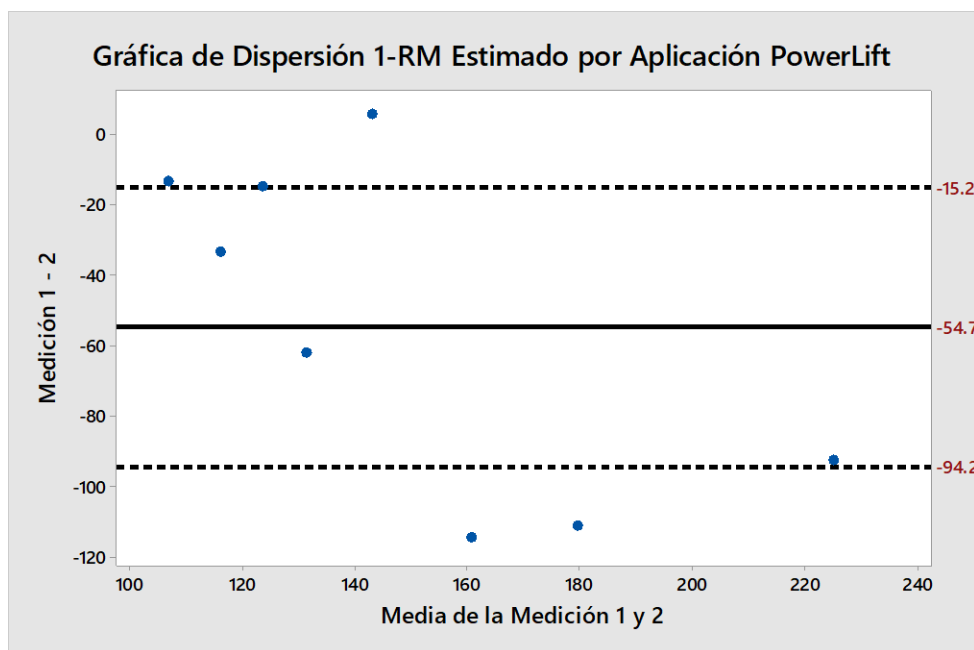


Figura 17. Dispersión de los datos de estimación del 1-RM por la aplicación My Lift

Gráfica de Dispersión de 1-RM Estimado por Análisis de Video con Kinovea

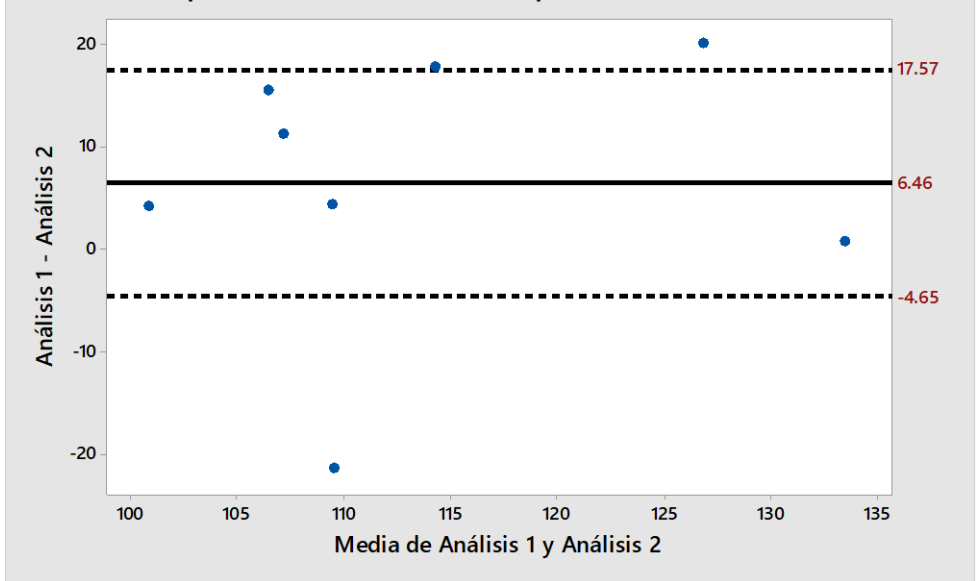


Figura 18. Dispersión de los datos de estimación del 1-RM por análisis de video con Kinovea en vista posterior.

Gráfica de dispersión de 1-RME por Kinovea VL

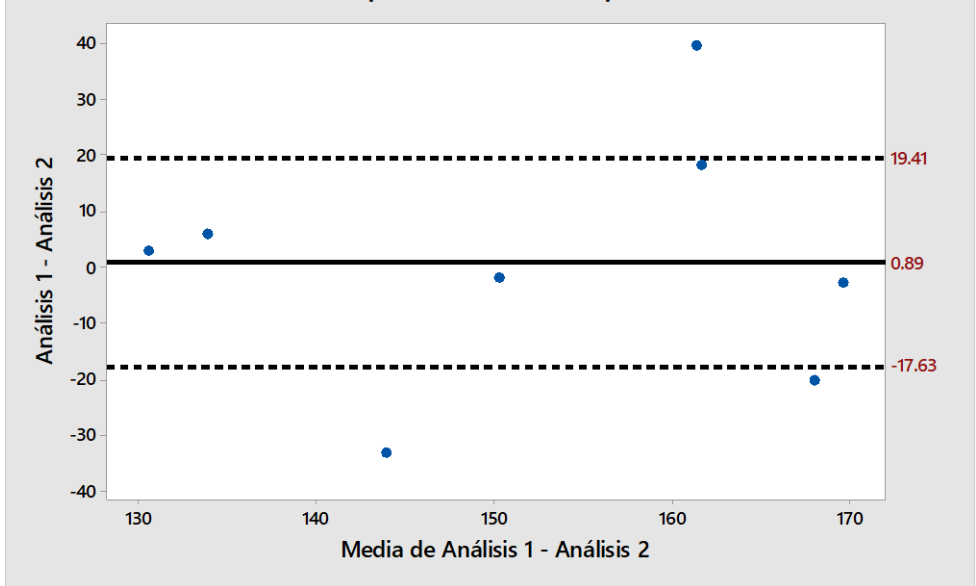


Figura 19. Dispersión de los datos de estimación del 1-RM por análisis de video con Kinovea en vista lateral.

DISCUSIÓN

La aplicación My Lift (PowerLift) para iPhone, es una aplicación que está a la venta para la población general, no solamente para personal capacitado en entrenamiento, esto es de vital relevancia debido a que su mal uso puede condicionar lesiones musculoesqueléticas, especialmente en sujetos principiantes o recreativos. Además, una limitante importante en la aplicación para estimar el 1-RM en sentadilla libre con barra, es que no ofrece indicaciones específicas para la medición del rango de movimiento, sin mencionar que utiliza una sola medición del rango de movimiento de forma constante. La selección de fotogramas para determinar el tiempo es en base a criterio de operador, lo cual, en individuos sin experiencia en análisis de video puede generar un rango amplio de error, en individuos con experiencia en análisis de video el error estándar está descrito en la literatura en un 2-3% ²⁶. Otra debilidad de la aplicación para estimar el 1-RM en sentadilla libre con barra es que ignora los componentes angulares del gesto técnico del ejercicio, lo cual aumenta el rango de error para la estimación del 1-RM ¹.

El análisis de video con Kinovea Motion Tuner, permite medir la distancia y el tiempo real del rango de movimiento en cada ejecución del ejercicio, lo que permite calcular con mayor precisión la velocidad en cada levantamiento, sin embargo, también presenta sus limitaciones, especialmente en practicidad ya que es necesario el análisis de video en otro momento y es requerido un operador con experiencia en el análisis de video.

En la actualidad el rol del médico del deporte no se limita a la atención de lesiones musculoesqueléticas, detección de anomalías en la marcha, detección de factores de riesgo de muerte súbita cardiaca, atención inmediata en el campo o rehabilitación y regreso a la actividad deportiva después de una lesión ³⁰. En la actualidad el médico del deporte debe presentar las competencias para la prescripción del ejercicio para la salud y como tratamiento en enfermedades donde ya se ha descrito sus efectos terapéuticos ³¹, además el médico que forma parte de uno o más equipos debe tener la capacidad de trabajar en conjunto con el entrenador en la determinación de las cargas de entrenamiento, ayudarlo a

seleccionar los mejores métodos de valoración de los parámetros relacionados a la capacidad física y, por consecuencia, mejorar el rendimiento del atleta con el menor riesgo de lesión o sobre-entrenamiento posible ^{32,33}.

CONCLUSIÓN

Basado en los resultados de este estudio, parece que, en basquetbolistas varones jóvenes de la UNAM ninguno de los métodos utilizados en el estudio estima de forma precisa el 1-RM para sentadilla libre con barra, pero el análisis de video con Kinovea en vista lateral presenta mayor repetibilidad de medición con una diferencia de 3.45% entre la primera y segunda sesión.

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Las principales limitaciones del presente estudio son:

- El número de sujetos participantes del estudio: 8 sujetos de estudio es una muestra demasiado pequeña, por lo que, con los resultados del estudio, no se cuenta con suficiente evidencia para dictaminar un resultado.
- El número de operadores: 1 operador solamente permite determinar la repetibilidad de uno o más métodos de medición, sin embargo, la repetibilidad no es suficiente para validar un método de medición.
- El número de mediciones: Con 2 mediciones la dispersión de los datos puede mostrarse más amplia.
- Disponibilidad de uso de equipo en el gimnasio: El área en el que se realizó el estudio es el gimnasio del Frontón Cerrado de la UNAM, por lo que el uso del equipo es para todos los atletas que entrenan en esas instalaciones, la disponibilidad al equipo era variable y limitada en cada sesión.

- Cargas ligeras: Debido a la disponibilidad del equipo, se utilizaron cargas ligeras en la estimación del 1-RM, lo cual condiciona una mayor variabilidad a los resultados.

ANEXOS

**FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN
COMISIÓN DE ÉTICA**

**CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO DE
INVESTIGACIÓN MÉDICA**

Título del protocolo: Precisión y repetibilidad de diferentes métodos indirectos para estimación del 1-RM en sentadilla libre.

Investigador principal: Dr. Juan Manuel Jerezano Mora

Sede donde se realizará el estudio: Gimnasio de pesas del Frontón Cerrado, C.U. UNAM

Nombre del paciente: _____

A usted se le está invitando a participar en este estudio de investigación médica. Antes de decidir si participa o no, debe conocer y comprender cada uno de los siguientes apartados. Este proceso se conoce como consentimiento informado. Siéntase con absoluta libertad para preguntar sobre cualquier aspecto que le ayude a aclarar sus dudas al respecto.

Una vez que haya comprendido el estudio y si usted desea participar, entonces se le pedirá que firme esta forma de consentimiento, de la cual se le entregará una copia firmada y fechada.

1. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.

El siguiente estudio pretende determinar la precisión de diferentes métodos que pueden ser utilizados para determinar las cargas de entrenamiento en sentadilla libre.

2. OBJETIVO DEL ESTUDIO

A usted se le está invitando a participar en un estudio de investigación que tiene como objetivos:

Determinar cuál es el mejor método para determinar las cargas de entrenamiento en sentadilla libre.

.

3. BENEFICIOS DEL ESTUDIO

Proporcionar a los atletas un método de estimación preciso y seguro de cargas de entrenamiento para conseguir mejorar el rendimiento deportivo..

4. PROCEDIMIENTOS DEL ESTUDIO

En caso de aceptar participar en el estudio se le realizarán algunas preguntas sobre usted, sus hábitos y sus antecedentes médicos, y la somatometría (toma de peso, talla). Se le solicitará que realice el ejercicio de sentadilla libre en múltiples ocasiones, con pesos cada vez más exigentes, durante las repeticiones se tomará video desde una perspectiva posterior y una lateral. Al terminar el análisis se le entregaran los resultados de sus pruebas, con la interpretación de los mismos.

5. RIESGOS ASOCIADOS CON EL ESTUDIO

Al realizar la sentadilla, podría realizarse con una técnica inapropiada de ejecución, que podrían tener como consecuencia lesiones osteomusculares en tobillo, rodilla o espalda baja, siendo las más comunes esguinces y espasmos musculares.

6. ACLARACIONES

- Su decisión de participar en el estudio es completamente voluntaria.
- No habrá ninguna consecuencia desfavorable para usted, en caso de no aceptar la invitación.
- Si decide participar en el estudio puede retirarse en el momento que lo desee, -aun cuando el investigador responsable no se lo solicite-, pudiendo informar o no, las razones de su decisión, la cual será respetada en su integridad.
- No tendrá que hacer gasto alguno durante el estudio.
- No recibirá pago por su participación.
- En el transcurso del estudio usted podrá solicitar información actualizada sobre el mismo, al investigador responsable.
- La información obtenida en este estudio, utilizada para la identificación de cada paciente, será mantenida con estricta confidencialidad por el grupo de investigadores.
- En caso de que usted desarrolle algún efecto adverso secundario no previsto, tiene derecho a una indemnización, siempre que estos efectos sean consecuencia de su participación en el estudio.
- Usted también tiene acceso a las Comisiones de Investigación y de Ética de la Facultad de Medicina de la UNAM en caso de que tenga dudas sobre sus derechos como participante del estudio: Teléfono: 5623 2136
- Si considera que no hay dudas ni preguntas acerca de su participación, puede, si así lo desea, firmar la Carta de Consentimiento Informado que forma parte de este documento.

7. CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, _____ he leído y comprendido la información anterior y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria. He sido informado y entiendo que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos. Convengo en participar en este estudio de investigación. Recibiré una copia firmada y fechada de esta forma de consentimiento.

Firma del participante o del padre o tutor

Fecha

Testigo 1

Fecha

Testigo 2

Fecha

Esta parte debe ser completada por el Investigador (o su representante): He explicado al Sr(a). _____ la naturaleza y los propósitos de la investigación; le he explicado acerca de los riesgos y beneficios que implica su participación. He contestado a las preguntas en la medida de lo posible y he preguntado si tiene alguna duda. Acepto que he leído y conozco la normatividad correspondiente para realizar investigación con seres humanos y me apego a ella. Una vez concluida la sesión de preguntas y respuestas, se procedió a firmar el presente documento.

Bibliografía

1. Banyard HG, Nosaka K, Haff GG. Reliability and Validity of the Load–Velocity Relationship to Predict the 1RM Back Squat: *J Strength Cond Res*. 2017;31(7):1897-1904. doi:10.1519/JSC.0000000000001657
2. Picerno P, Iannetta D, Comotto S, et al. 1RM prediction: a novel methodology based on the force–velocity and load–velocity relationships. *Eur J Appl Physiol*. 2016;116(10):2035-2043. doi:10.1007/s00421-016-3457-0
3. Bazuelo-Ruiz B, Padial P, García-Ramos A, Morales-Artacho AJ, Miranda MT, Feriche B. Predicting maximal dynamic strength from the load-velocity relationship in squat exercise. *J Strength Cond Res*. 2015;29(7):1999-2005.
4. LeSuer DA, McCormick JH, Mayhew JL, Wasserstein RL, Arnold MD. The Accuracy of Prediction Equations for Estimating 1-RM Performance in the Bench Press, Squat, and Deadlift: *J Strength Cond Res*. 1997;11(4):211-213. doi:10.1519/00124278-199711000-00001
5. Loturco I, Pereira LA, Abad CCC, et al. Using Bar Velocity to Predict Maximum Dynamic Strength in the Half-Squat Exercise. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016;11(5):697-700. doi:10.1123/ijssp.2015-0316
6. Balsalobre-Fernández C, Marchante D, Muñoz-López M, Jiménez SL. Validity and reliability of a novel iPhone app for the measurement of barbell velocity and 1RM on the bench-press exercise. *J Sports Sci*. 2018;36(1):64-70. doi:10.1080/02640414.2017.1280610
7. Myer GD, Kushner AM, Brent JL, et al. The Back Squat: A Proposed Assessment of Functional Deficits and Technical Factors That Limit Performance. *Strength Cond J*. 2014;36(6):4-27. doi:10.1519/SSC.000000000000103
8. Kushner AM, Brent JL, Schoenfeld BJ, et al. The Back Squat: Targeted Training Techniques to Correct Functional Deficits and Technical Factors That Limit Performance. *Strength Cond J*. 2015;37(2):13-60. doi:10.1519/SSC.000000000000130
9. Tan S, Wang J, Liu S. Establishment of the Prediction Equations of 1RM Skeletal Muscle Strength in 60- to 75-Year-Old Chinese Men and Women. *J Aging Phys Act*. 2015;23(4):640-646. doi:10.1123/japa.2014-0103
10. Whyte G, ed. *The Physiology of Training*. Edinburgh: Elsevier, Churchill Livingstone; 2006.
11. Levinger I, Goodman C, Hare DL, Jerums G, Toia D, Selig S. The reliability of the 1RM strength test for untrained middle-aged individuals. *J Sci Med Sport*. 2009;12(2):310-316. doi:10.1016/j.jsams.2007.10.007
12. Reynolds JM, Gordon TJ, Robergs RA. Prediction of One Repetition Maximum Strength From Multiple Repetition Maximum Testing and Anthropometry. *J Strength Cond Res*. 2006;20(3):584. doi:10.1519/R-15304.1
13. Mayhew JL, Johnson BD, LaMonte MJ, Lauber D, Kemmler W. Accuracy of Prediction Equations for Determining One Repetition Maximum Bench Press in Women Before and After Resistance Training: *J Strength Cond Res*. 2008;22(5):1570-1577. doi:10.1519/JSC.0b013e31817b02ad

14. Macht JW, Abel MG, Mullineaux DR, Yates JW. Development of 1RM Prediction Equations for Bench Press in Moderately Trained Men: *J Strength Cond Res*. 2016;30(10):2901-2906. doi:10.1519/JSC.0000000000001385
15. Jidovtseff B, Harris NK, Crielaard J-M, Cronin JB. Using the load-velocity relationship for 1RM prediction: *J Strength Cond Res*. 2011;25(1):267-270. doi:10.1519/JSC.0b013e3181b62c5f
16. Bosquet L, Porta-Benache J, Blais J. Validity of a Commercial Linear Encoder to Estimate Bench Press 1 RM from the Force-Velocity Relationship. *J Sports Sci Med*. 2010;9(3):459-463.
17. Pérez-Castilla A, García-Ramos A, Paulino Padial AJ, Granada G. Load-velocity relationship in variations of the half-squat exercise: Influence of execution. 2017.
18. González-Badillo JJ, Sánchez-Medina L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med*. 2010;31(05):347-352.
19. Conceição F, Fernandes J, Lewis M, Gonzaléz-Badillo JJ, Jimenéz-Reyes P. Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises. *J Sports Sci*. 2016;34(12):1099-1106. doi:10.1080/02640414.2015.1090010
20. Chicharro JL, Vaquero AF. *Fisiología Del Ejercicio*. Ed. Médica Panamericana; 2006.
21. Wilmore JH, Costill DL. *Fisiología Del Esfuerzo y Del Deporte*. Editorial Paidotribo; 2004.
22. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Fisiología Do Exercício*. Grupo Gen-Guanabara Koogan; 2016.
23. Owen Walker. Force-Velocity Curve. *Sci Sport*. January 2016. https://www.scienceforsport.com/force-velocity-profiling/?utm_source=ActiveCampaign&utm_medium=email&utm_content=New+Article%3A+Force-Velocity+Profiling&utm_campaign=New+Article%3A+Force-Velocity+Profiling#toggle-id-1.
24. Gullett JC, Tillman MD, Gutierrez GM, Chow JW. A biomechanical comparison of back and front squats in healthy trained individuals. *J Strength Cond Res*. 2009;23(1):284-292.
25. Puig-Diví A, Escalona-Marfil C, Padullés-Riu JM, Busquets A, Padullés-Chando X, Marcos-Ruiz D. Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives. Balsalobre-Fernández C, ed. *PLOS ONE*. 2019;14(6):e0216448. doi:10.1371/journal.pone.0216448
26. Ganni S, Botden SMBI, Chmarra M, Goossens RHM, Jakimowicz JJ. A software-based tool for video motion tracking in the surgical skills assessment landscape. *Surg Endosc*. 2018;32(6):2994-2999. doi:10.1007/s00464-018-6023-5
27. Marques MC, Marinho DA, van den Tillaar R. A load-velocity relationship for men and women in overhead throwing performance. *J Sports Sci Med*. 2010;9(3):524.
28. Pestaña-Melero FL, Haff GG, Rojas FJ, Pérez-Castilla A, García-Ramos A. Reliability of the Load-Velocity Relationship Obtained Through Linear and Polynomial Regression Models to Predict the One-Repetition Maximum Load. *J Appl Biomech*. 2017:1-23.

29. Banyard HG, Nosaka K, Vernon AD, Haff GG. The Reliability of Individualized Load-Velocity Profiles. *Int J Sports Physiol Perform*. 2017;1-22.
30. Bundy M. The role of the sports physician. *Br J Hosp Med*. 2009;70(11):624-626. doi:10.12968/hmed.2009.70.11.45048
31. Pedersen BK, Saltin B. Exercise as medicine - evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. *Scand J Med Sci Sports*. 2015;25:1-72. doi:10.1111/sms.12581
32. Ekstrand J, Lundqvist D, Davison M, D'Hooghe M, Pensgaard AM. Communication quality between the medical team and the head coach/manager is associated with injury burden and player availability in elite football clubs. *Br J Sports Med*. 2019;53(5):304-308. doi:10.1136/bjsports-2018-099411
33. Ekstrand J, Lundqvist D, Lagerbäck L, Vouillamoz M, Papadimitiou N, Karlsson J. Is there a correlation between coaches' leadership styles and injuries in elite football teams? A study of 36 elite teams in 17 countries. *Br J Sports Med*. 2018;52(8):527-531. doi:10.1136/bjsports-2017-098001